



SKRIPSI - ME091329

Analisa Regenerasi Zeolit Sebagai Adsorben Pada Alat Pendingin Adsorpsi

GALES SANOWARI SAKTI
NRP 4207 100 087

Dosen Pembimbing

Ir. Alam Baheramasyah. M.Sc - NIP. 1968 0129 1992 03 1001
Beny Cahyono. S.T., M.T - NIP. 1979 0319 2008 01 1008

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - ME091329

Analysis of Regeneration Zeolite As An Adsorbent On Adsorption Refrigeration

GALES SANOWARI SAKTI
NRP 4207 100 087

Supervisor

Ir. Alam Baheramasyah. M.Sc - NIP. 1968 0129 1992 03 1001
Beny Cahyono. S.T., M.T - NIP. 1979 0319 2008 01 1008

Department Of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA REGENERASI ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN PADA ALAT PENDINGIN ADSORPSI

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Machinery System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

GALES SANOWARI SAKTI

NRP 4207 100 087

Disetujui oleh Pembimbing SKRIPSI :

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Beny Cahyono. S.T., M.T.



SURABAYA

Juli, 2014

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA REGENERASI ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN PADA ALAT PENDINGIN ADSORPSI

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Machinery System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

GALES SANOWARI SAKTI

NRP 4207 100 087

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem perkapalan :

Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng, D.Eng (.....)

SURABAYA

Juli, 2011

Analisa Regenerasi Zeolit Sebagai Adsorben Pada Alat Pendingin Adsorpsi

Nama Mahasiswa : Gales Sanowari Sakti
NRP : 4207 100 087
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Alam Baheramsyah.M.Sc
2. Beny Cahyono.S.T.MT

Abstrak

Alat pendingin adsorpsi dengan zeolit sebagai adsorben merupakan metode pendingin alternatif. Zeolit merupakan batuan mineral mampu menyerap uap air. Proses penyerapan ini akan berhenti ketika pori – pori zeolit telah terisi penuh oleh uap air. Zeolit dapat di aktifkan dengan proses regenerasi.

Metode regenerasi dengan melakukan percobaan regenerasi kalsinasi sumber panas matahari dan sumber panas oven bertemperatur 150oC, regenerasi gabungan kimia dan kalsinasi menggunakan larutan NaOH dan HCL untuk merendam zeolit yang kemudian dilakukan proses kalsinasi.

Dari hasil percobaan diperoleh bahwa metode gabungan kimia dan kalsinasi memiliki hasil desorpsi terbesar. Metode ini dapat mencapai desorpsi 29% uap air dari massa zeolit dengan metode HCL + 150oC. Untuk regenerasi sumber panas matahari dan sumber panas 150oC memiliki perbedaan hasil desorpsi rata-rata 50 gram uap air dan 120 menit perbedaan waktu regenerasi. Setiap metode dapat mengembalikan kemampuan adsorpsi pada zeolit.

Kata kunci: Zeolit, Adsorpsi, Desorpsi,Regenerasi, Refrigerasi

Analysis of Regeneration Zeolite As An Adsorbent On Adsorption Refrigeration

Name : Gales Sanowari Sakti
NRP : 4207 100 087
Department : Marine Engineering
Advisor : 1. Ir. Alam Baheramsyah.M.Sc
2. Beny Cahyono.S.T.MT

Abstract

Adsorption refrigeration with zeolite as an adsorbent is an alternative cooling method. Zeolite is the mineral stone that can adsorb water vapour. Adsorption will stop when the zeolite pores are full filled of water vapour. Zeolite can be activated with regeneration process.

Method of regeneration by calcination regeneration experiment solar heat source and heat source temperature 150°C with oven, combined chemical and calcination regeneration using NaOH liquid and HCL liquid to soak zeolites which are then carried calcination process.

From the experimental results obtained that the combined chemical and calcination method has the largest desorption. It can desorb 29% of water vapour from mass of zeolite with HCL + 150°C method. For regeneration of the sun's heat source and a heat source 150°C has a difference of desorption results an average of 50 grams of water vapor and 120-minute time difference regeneration. Each method is able to restore the adsorption ability on zeolites.

Key Word: *Zeolite, Adsorption, Desorption, Regeneration, Refrigeration*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, atas Rahmat dan Karunia yang diberikan Allah SWT sehingga Skripsi dengan judul “ANALISA REGENERASI ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN PADA ALAT PENDINGIN ADSORPSI” ini dapat diselesaikan. Penulisan Skripsi ini sebagai salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Banyak pihak yang telah membantu penulis hingga terselesaikan penulisan laporan tugas akhir ini dengan tepat waktu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis (ibunda tercinta Suparti dan ayahanda Juari), adik-adik saya tercinta dan segenap keluarga keluarga besar yang selalu memberi dorongan serta do'a yang tidak ada hentinya.
2. Bapak Ir. Alam Baheramsyah. M.Sc dan Bapak Beny Cahyono. S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, bimbingan, dan nasehat, selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng, D.Eng selaku ketua jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberikan petuah, amanah dan nasehat layaknya orang tua sendiri.
4. Seluruh Civitas akademika Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem yang selalu memberikan motivasi serta bantuannya dalam mengerjakan tugas akhir ini.
5. Saudara Fahmi Abdilah sebagai teman seperjuangan yang selalu memberikan semangat dan kritik yang membangun dalam proses pengerjaan Skripsi ini.
6. Pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan Skripsi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, segala saran serta masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dan kemajuan dalam Skripsi ini.

Akhir kata semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua. Semoga laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya yang membaca. Amin.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Abstrak	v
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Sistem Refrigerasi Adsorpsi	5
2.1.1 Teori Umum Adsorpsi	5
2.1.2 Siklus Mesin Pendingin Adsorpsi	7
2.1.3 Proses Adsorpsi Zeolit	9
2.1.4 Proses Desorpsi Zeolit	10
2.2 Zeolit Sebagai Adsorben	10
2.2.1 Sekilas Tentang Zeolit	10
2.2.2 Struktur Zeolit	11
2.2.3 Sifat – Sifat Umum Zeolit	12
2.2.4 Sifat Fisik dan Kimia Zeolit	15
2.3 Teori Perpindahan Panas	17
2.3.1 Panas/Kalor	17
2.3.2 Kalor Spesifik	17
2.3.3 Perhitungan Kuantitas Energi	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum	21
3.2 Metodologi Tugas Akhir	21
3.2.1 Study Literatur	23
3.2.2 Tahap Experiment	23

3.2.3 Analisa Hasil Percobaan.....	28
3.2.4 Kesimpulan.....	29

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Tujuan.....	31
4.2 Alat yang Digunakan.....	31
4.2.1 Peralatan pada percobaan regenerasi zeolit	32
4.2.2 Peralatan pada percobaan adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi	35
4.3 Hasil Percobaan	37
4.3.1 Hasil percobaan proses regenerasi zeolit.....	37
4.3.2 Hasil percobaan proses adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi.....	44
4.4 Pembahasan	53
4.4.1 Analisa Percobaan Regenerasi Zeolit	53
4.4.2 Analisa Percobaan Adsorpsi pada Alat Pendingin Adsorpsi.	55

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62

DAFTAR PUSTAKA.....	63
---------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Dasar refrigerasi adsorpsi	6
Gambar 2.2 Heating & Pressurezation(A), Desorption & Condensation(B) Cooling & Depressurezation (C), Adsorption & Evaporation (D).....	7
Gambar 2.3 Proses Adsorpsi Zeolit terhadap air (gas/cair)....	9
Gambar 2.4. Proses Desorpsi Zeolit terhadap air (gas/cair) ..	10
Gambar 2.5. Kerangka tetra hedral zeolit	11
Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Skema alat pendingin adsorpsi	27
Gambar 4.1 Zeolit.....	32
Gambar 4.2 Oven tangkring	32
Gambar 4.3 Termometer	33
Gambar 4.4 NaOH.....	33
Gambar 4.5 HCL	34
Gambar 4.6 Timbangan	34
Gambar 4.7 Pompa Vakum	35
Gambar 4.8 Vakum gauge	35
Gambar 4.9 Termometer	36
Gambar 4.10 evaporator	36
Gambar 4.11 wadah Zeolit	37
Gambar 4.12 Alat Percobaan Alat Pendingin Adsorpsi	44
Gambar 4.13 Grafik perbandingan Zeolit dengan berbagai proses regenerasi.....	53
Gambar 4.14 Grafik Prosesntase uap air tersdesorpsi terhadap masa 1 kg zeolit jenuh.....	54
Gambar 4.15 Grafik perbandingan penurunan temperatur air beban pendingin terhadap waktu pada setiap penggunaan zeolit teregenerasi.....	55
Gambar 4.16 Grafik Penyerapan uap air oleh zeolit tereGenerasi.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Regenerasi Secara Kalsinasi pada suhu 150 celcius	38
Tabel 4.2 Hasil Regenerasi Secara NaOH dan Kalsinasi pada suhu 150 celcius	39
Tabel 4.3 Hasil Regenerasi Secara HCL dan Kalsinasi pada suhu 150 celcius	40
Tabel 4.4 Regenerasi dengan panas matahari.....	41
Tabel 4.5 Regenerasi dengan NaOH dan panas matahari.....	42
Tabel 4.6 Regenerasi dengan HCL dan panas matahari	43
Tabel 4.7 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi panas matahari	46
Tabel 4.8 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi NaOH & panas matahari	47
Tabel 4.9 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi HCL & panas matahari	48
Tabel 4.10 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi oven 150 Celcius	49
Tabel 4.11 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi NaOH & oven 150 Celcius	50
Tabel 4.12 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi HCL & oven 150 Celcius	51
Tabel 4.13 Hasil percobaan pendinginan 12 liter suhu 70 Celcius tanpa alat pendingin adsorpsi.....	52
Tabel 4.14 Analisa pendinginan pada 0 – 15 menit	59



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alat pendingin yang ada di masyarakat saat ini masih banyak yang menggunakan freon sebagai refrigerannya tanpa mengetahui tentang betapa bahayanya freon tersebut terhadap masa depan bumi kita, padahal seperti yang diketahui bahwasanya penggunaan freon saat ini sudah dilarang karena dampak terhadap perusakan ozon sangat besar.

Maka ada alternatif lain sistem pendingin adsorpsi dengan zeolit sebagai adsorben. Sistem ini merujuk pada sifat zeolit desorpsi dan adsorpsi. Namun dalam prosesnya zeolit ini tidak dapat terus menerus menyerap uap larutan karena jenuh.

Zeolit merupakan salah satu mineral yang banyak terkandung di bumi Indonesia. Zeolit pertama kali di temukan oleh Baron Axel Frederick C pada tahun 1756 di alam untuk jenis kristal dengan struktur berongga. Zeolit alam banyak di jumpai di Indonesia antara lain : Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Yogyakarta dll. Zeolit alam ini memiliki beberapa sifat yang di antaranya, desorpsi adsorpsi, katalisator, penukar ion. sifat sifat ini dimiliki karena sifat struktur zeolit yang berongga.

Dengan beberapa alasan yang sudah disebutkan di atas, untuk itu perlu dikembangkan alat pendingin adsorpsi dengan melakukan beberapa pengujian proses regenerasi zeolit jenuh dengan proses aktivasi ulang. Proses pengaktifan zeolit ini dapat dilakukan dengan pemanasan, kimia atau gabungan keduanya.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam proses pendinginan dengan zeolite sebagai absorben, zeolite tersebut akan mengalami kondisi jenuh sehingga tidak dapat melakukan fungsinya lagi, sehingga di perlukan cara untuk meregenerasi zeolite jenuh.

1. Bagaimana hasil desorpsi uap air dari zeolit jenuh dengan regenerasi kalsinasi dan regenerasi kimia + kalsinasi ?
2. Bagaimana efek zeolit yang telah di regenerasi dalam proses adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi ?

1.3 Tujuan

Dalam pengerjaan skripsi ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui hasil desorpsi uap air dari zeolit jenuh melalui proses regenerasi kalsinasi dengan

menggunakan panas matahari dan pengovenan dan proses regenerasi kimia + kalsinasi dengan menggunakan larutan NaOH dan HCL.

2. Mengetahui efek zeolit untuk menyerap uap air dalam proses adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi.



BAB II

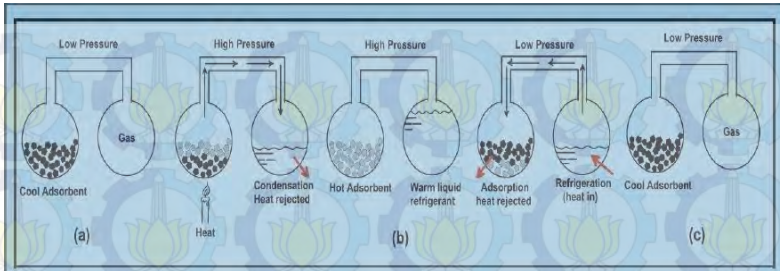
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TEORI SISTEM REFRIGERASI ADSORPSI

2.1.1 Teori Umum Adsorpsi

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan yang menghubungkan dua buah fasa yang didalamnya terdapat gaya kohesif termasuk gaya hidrostatis dan gaya ikatan hydrogen yang bekerja diantara molekul seluruh material. Gaya-gaya yang tidak seimbang pada batas fasa tersebut menyebabkan perubahan-perubahan konsentrasi molekul pada interface solid/fluida. Proses adsorpsi melibatkan pemisahan sebuah zat dari suatu fase yang diikuti oleh akumulasi pada permukaan zat yang lain. Material yang menyerap disebut adsorben sedangkan material yang teradsorpsi disebut adsorbat (refrigerant).

Jika fenomena adsorpsi disebabkan terutama oleh gaya Van der Waals dan gaya hidrostatis antara molekul adsorbat dan atom yang membentuk permukaan adsorben tanpa adanya ikatan kimia maka disebut adsorpsi fisika. Dan jika terjadi interaksi secara kimia antara adsorbat dan adsorben maka fenomenanya disebut adsorpsi kimia. Adsorpsi adalah proses eksotermis yang diikuti oleh adanya pelepasan panas.

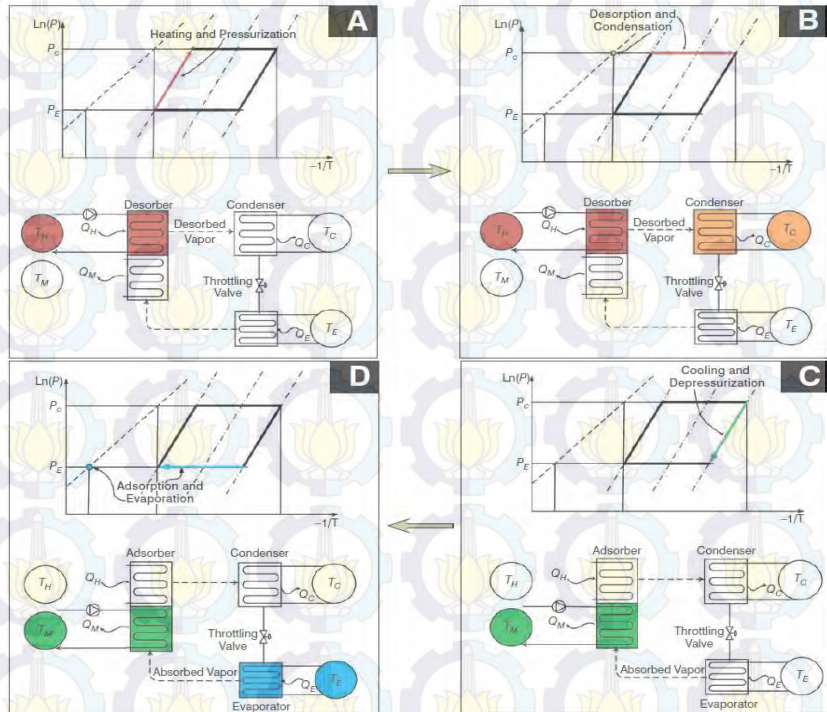


Gambar 2.1 Siklus Dasar refrigerasi adsorpsi (Nurkholis Jayasabowo, 2008)

Siklus refrigerasi adsorpsi sangat tergantung pada adsorpsi gas refrigeran (uap) ke dalam adsorben pada tekanan rendah dan dilanjutkan dengan desorpsi dengan pemanasan. Sebagai sebuah gambaran sederhana dapat dilihat pada gambar 2.1 diatas, sebuah sistem refrigerasi adsorpsi terdiri dari dua buah vessel yang saling berhubungan, satu vessel terdiri adsorben dan vessel kedua terdapat refrigeran.

Pada kondisi awal sistem berada pada tekanan dan temperature rendah, adsorben memiliki konsentrasi refrigeran yang cukup tinggi dan vessel yang lain terdapat refrigeran dalam bentuk gas (gambar 2.1.a). Vessel yang terdapat adsorben dipanaskan (desorber) yang mengakibatkan keluarnya refrigeran dan naiknya tekanan sistem. Refrigeran yang terdesorpsi kemudian terkondensasi sebagai cairan didalam vessel kedua dengan dikeluarkannya panas (gambar 2.1.b) Selanjutnya desorber didinginkan kembali ke temperature ambien, menyerap kembali refrigeran dan menurunkan tekanannya. Tekanan yang rendah pada vessel kedua menyebabkan proses penguapan yang memproduksi efek pendinginan.

2.1.2 Siklus Mesin Pendingin Adsorpsi



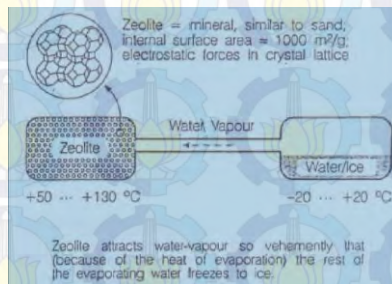
Gambar 2.2 Heating & Pressurization(A), Desorption & Condensation(B) Cooling & Depressurization (C), Adsorption & Evaporation (D),(Wang. Adsorption refrigeration Ashrae journal).

Siklus adsorpsi dasar terdiri dari empat langkah : pemanasan dan kompresi tekanan, desorpsi dan kondensasi, pendinginan dan penurunan tekanan, dan adsorpsi dan penguapan.

- Pada langkah pertama , adsorber dipanaskan oleh sumber panas pada suhu T_H . Tekanan pada adsorber meningkat dari tekanan evaporating hingga tekanan condensing selama suhu adsorber meningkat . Langkah ini equivalent ke " kompresi " dalam siklus kompresi uap.
- Pada langkah kedua , adsorber terus menerima panas dan suhu yang terus meningkat , yang menghasilkan desorpsi (atau generasi) dari uap refrigeran dari adsorben dalam adsorber tersebut . Uap desorbed ini dicairkan dalam kondensor dan panas kondensasi yang dilepaskan ke heat sink pertama pada suhu T_C . Langkah ini setara dengan " kondensasi " disiklus kompresi uap .
- Pada awal langkah ketiga , adsorber tidak di hubungkan dari kondensor. Kemudian, itu didinginkan oleh fluida perpindahan panas pada kedua suhu heat sink dari T_M . Tekanan dari adsorber menurun dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi akibat penurunan suhu adsorber . Langkah ini setara dengan " ekspansi " di kompresi uap siklus .
- Pada langkah terakhir , adsorber yang terus melepaskan panas ketika sedang terhubung ke evaporator. Temperatur adsorber terus menurun, yang menghasilkan adsorpsi uap refrigeran dari evaporator oleh adsorben, menghasilkan efek pendinginan yang diinginkan . Langkah ini setara dengan " penguapan " dalam siklus kompresi uap. Siklus refrigasi adsorpsi adalah sistem intermiten dan output pendingin tidak kontinyu. Minimal dua penyerap yang diperlukan untuk mendapatkan efek pendinginan yang terus

menerus (ketika penyerapan pertama adalah dalam tahap adsorpsi, kedua adsorber dalam tahap desorpsi). Penyerap ini akan melaksanakan proses desorpsi adsorpsi.

2.1.3 Proses Adsorpsi Zeolit



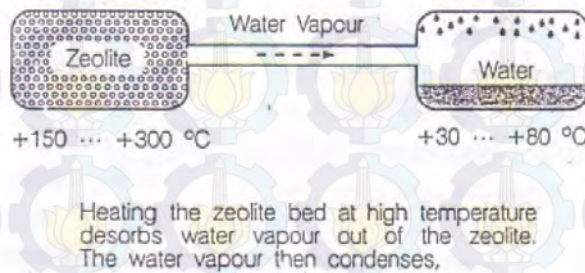
Gambar 2.3 Proses Adsorpsi Zeolit terhadap air (gas/cair), (Windy Hermawan, Modul bahan ajar KKRA 2011-2013).

Dengan menggunakan zeolit, berbentuk seperti pasir alumosilicate, sebagai adsorbent dan air sebagai fluida kerja, daya pendinginan dan pemanasan dapat dihasilkan dalam suatu proses adsorpsi. Jika proses ini berlangsung pada sebuah lingkungan vakum, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 maka penyerapan air di wadah oleh zeolit itu sedemikian kuatnya sehingga tekanan internal akan turun secara drastis.

Air yang tersisa di wadah air akan menguap, sehingga akan mendingin dan bahkan dapat membeku karena adanya penguapan. Es yang di hasilkan dapat di gunakan untuk pendinginan dan AC. Sementara itu kalor akan di hasilkan secara simultan karena proses adsorpsi dalam wadah yang

dapat di manfaatkan untuk pemanasan. Jika katup di letakkan antara saluran penghubung dua wadah, maka pemanasan atau pendinginan dapat di lakukan secara bergantian. Tanpa kehilangan energi. Dan tahap ini akan berlangsung hingga zeolit jenuh.

2.1.4 Proses Desorpsi Zeolit



Gambar 2.4 Proses Desorpsi Zeolit terhadap air (gas/cair) (Windy Hermawan, Modul bahan ajar KKRA 2011-2013).

Seperti di tunjukkan gambar 2.3 proses desorpsi dimulai dengan proses pemanasan. Air di dorong dari zeolit dalam bentuk uap, mengembun di wadah air, dimana di simpan untuk kembali akan di uapkan kembali. Langkah – langkah urutan proses ini sepenuhnya reversibel dan dapat di ulang berkali – kali.

2.2 ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN

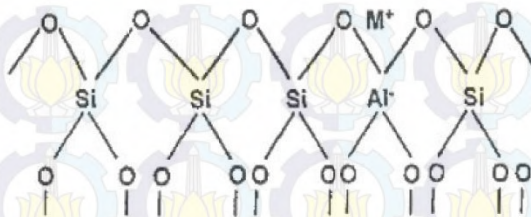
2.2.1 Sekilas Tentang Zeolit

Kata “zeolit” berasal dari dua kata bahasa Yunani yaitu zeo yang berartimendidih dan litos yang berarti batu.

Zeolit merupakan kelompok mineral yang mempunyai sifat dapat menyerap air dan melepaskannya lagi tanpa mengalami perubahan struktur yang signifikan, sehingga zeolit masuk dalam kelompok zat adsorben. Dalam kelompok adsorben, zeolit termasuk adsorben yang mempunyai ukuran pori mikro (mikropori) dan dalam klasifikasi BET, zeolit masuk ke dalam golongan tipe I. (Laeli K.,2011)

2.2.2 Struktur Zeolit

Zeolit merupakan Kristal berongga yang terbentuk oleh jaringan silika alumina tetra hedral tiga imensi dan mempunyai struktur yang relative teratur dengan rongga yang ada di dalamnya terisi oleh logam alkali atau alkali tanah sebagai penyeimbang muatannya. Rongga rongga tersebut merupakan suatu system saluran yang di dalamnya terisi oleh molekul air (Ismaryata,1999).



Gambar 2.5 Kerangka tetra hedral zeolit (Lesley & Elain.1992)

Menurut Barred and Breck, Zeolit di kelompokkan menjadi 4 yaitu :

1. Zeolit yang terbentuk pada suhu tinggi, dimana masing-masing temperatur tertentu akan terbentuk jenis zeolit tertentu pula.
2. Zeolit yang terbentuk di dekat permukaan lingkungan sedimennya dengan perubahan kimia.
3. Zeolit yang terbentuk pada suhu rendah pada lingkungan pengendapan laut.
4. Zeolit yang terbentuk sebagai akibat terbentuknya "eraters" di lingkungan dasar laut yang menghasilkan fast hydrothermal zeolitization dari gelas vulkanik.

2.2.3 Sifat – Sifat Umum Zeolit

Zeolit mempunyai beberapa sifat di antaranya (Amelia 2003) :

a. Dehidrasi / Desorpsi

Dehidrasi adalah proses yang bertujuan untuk melepaskan molekul molekul air dari Kristal sehingga terbentuk suatu rongga dengan permukaan yang lebih besar dan tidak lagi terlindungi oleh sesuatu yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Proses dehidrasi memiliki fungsi utama utama

melepas molekul air dari kerangka zeolite sehingga mempertinggi keaktifan zeolite. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume yang hampa yang akan terbentuk bila unit sel Kristal zeolite tersebut dipanaskan.

b. Adsorpsi

Pada keadaan normal, ruang hampa dalam Kristal zeolite terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila zeolite dipanaskan maka air tersebut akan keluar sehingga zeolite tersebut dapat berfungsi sebagai penyerap gas / uap cairan. Dehidrasi menyebabkan pori zeolite sangat terbuka dan mempunyai luas permukaan internal yang mampu mengadsorpsi sejumlah besar substansi selain air dan mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran molekul dan kepolarannya.

c. Penukar Ion

Penukar ion di dalam zeolit adalah proses dimana ion zeolit asli yang terdapat dalam rangka kristalin digantikan dengan kation lain dari larutan. Zeolit mempunyai struktur rangka tiga dimensi yang terdiri dari tetrahedral SiO₂ dan AlO₄, trivalen Al³⁺ dalam posisi tetrahedralnya membutuhkan adanya penambahan muatan listrik, biasanya menggunakan Na⁺, K⁺, Mg²⁺ atau Ca²⁺. Dalam struktur rangka zeolit, kation-kation tersebut tidak terikat pada posisi yang tepat, tetapi dapat bergerak bebas dalam rangka zeolit dan bertindak sebagai “counter ion” yang dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain.

d.Katalisator

Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori pori yang besar dengan permukaan yang luas dan juga memiliki sisi aktif. Dengan adanya rongga intrakristalin, zeolit dapat digunakan sebagai katalis. Reaksi katalitik dipengaruhi oleh ukuran mulut rongga dan sistem alur, karena reaksi ini tergantung pada difusi pereaksi dan hasil reaksi.

e.Penyaring / pemisah

Zeolit mampu memisahkan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang disaring. Zeolit mampu memisahkan molekul gas atau zat dari suatu campuran tertentu karena mempunyai rongga yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam macam (antara 2-3Å). Volume dan ukuran garis tengah ruang kosong dalam kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring molekul. Molekul yang berukuran lebih kecil dapat dimasukkan ke dalam pori. Sedangkan molekul yang berukuran lebih besar dari pori akan tertahan.

Untuk mendapatkan kandungan aluminium yang optimum pada zeolit dapat dilakukan dengan metode dealuminasi. Dealuminasi dapat digunakan untuk mengontrol aktivitas keasaman dan ukuran pori pori zeolit berhubungan dengan fungsi zeolit sebagai penyerap.

2.2.4 Sifat Fisik dan Kimia Zeolit

Zeolit memiliki sifat fisik dan kimia yaitu (Sutarti,1994) :

- Hidrasi derajat yang tinggi
- Ringan
- Penukar ion yang tinggi
- Ukuran saluran yang uniform
- Menghantar listrik
- Mengadsorpsi uap dan gas
- Mempunyai sifat katalistik

Karakteristik zeolit meliputi :

- A. Density : 1,1 gr,cc
- B. Porositas : 0,31
- C. Volume berpori : 0,28-3 cc/gr
- D. Surface area : 1-20 m²/gr
- E. Jari-jari makropori : 30-100 nm
- F. Jari-jari mikropori : 0,5 nm

Zeolit yang diperoleh dari proses penyiapan telah dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Akan tetapi daya serap, daya ukar ion maupun daya katalis dari zeolit tersebut belum maksimal. Untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan yang tinggi diperlukan beberapa perlakuan, antara lain preparasi, aktivasi dan modifikasi

a. Preparasi

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh ukuran produk yang sesuai dengan tujuan penggunaan. Preparasi ini terdiri dari tahap peremukan (crushing) sampai penggerusan (grinding).

b. Aktivasi

Proses aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu secara fisis dan kimiawi. Aktivasi secara fisis berupa pemanasan zeolit dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan larutan asam H_2SO_4 atau basa $NaOH$ dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Pereaksi kimia ditambahkan pada zeolit yang telah disusun dalam tangki dan diaduk dalam jangka waktu tertentu. Zeolit kemudian dicuci dengan air sampai netral dan selanjutnya dikeringkan.

c. Modifikasi

Di dalam proses pengolahan air, zeolit hasil aktivasi telah mampu menyerap ion logam berat yang berbentuk

kation. Agar zeolit dapat juga menyerap logam berat yang berupa anion, mikroorganisme serta zat organik lain maka zeolit perlu dimodifikasi. Cara modifikasi ialah dengan jalan melapisi zeolit dengan polimer organik vinil piridin, polimer organik alam atau dengan mangan

2.3 TEORI PERPINDAHAN PANAS

2.3.1 Panas/Kalor

Kalor (q) adalah salah satu bentuk energi. Fakta dengan jelas membuktikan bahwa kalor dapat diubah menjadi bentuk energi lain dan begitu pula sebaliknya. Secara termodinamik kalor didefinisikan sebagai "Energy in transit from one body to another as the result of a temperature difference between the two bodies"

Kuantitas energi kalor (Q) dihitung dalam satuan joules (J). Laju aliran kalor dihitung dalam satuan joule per detik (J/s) atau watt (W). Laju aliran energi ini juga disebut daya, yaitu laju dalam melakukan usaha.

2.3.2 Kalor Spesifik

Kalor spesifik (c) adalah jumlah energi dalam satuan kilojoule yang dibutuhkan untuk mengubah temperatur 1 kg substansi sebesar 1°C atau 1°K . Kalor spesifik substansi berubah secara signifikan dengan terjadinya perubahan fase pada substansi. Dalam kasus substansi gas bervolume konstan kalor spesifik diberi simbol c_v (kJ/kg K), sedangkan pada gas bertekanan konstan diberi simbol c_p (kJ/kg K). Pada umumnya $c_p > c_v$ karena pada kondisi tekanan konstan, gas

berekspansi bersamaan dengan perubahan temperatur sehingga terjadi energi kinetik eksternal / kerja (W). Oleh karena itu diperlukan kalor lebih banyak sesuai besarnya kerja yang terjadi.

2.3.3 Perhitungan Kuantitas Energi

Dari definisi kalor spesifik jumlah energi dapat dihitung dengan persamaan

$$q = m c (T_2 - T_1)$$

q = jumlah kalor (kJ)

m = massa (kg)

c = kalor spesifik (kJ/kg K)

T₁ = temperatur awal (K) atau (C)

T₂ = temperatur akhir (K) atau (C)

Apabila massa diganti laju aliran massa (kg/s), maka jumlah kalor pun akan menjadi laju aliran kalor atau disebut daya (kJ/s)

Energi kalor yang dialirkan ke/ataupun dari substansi mengakibatkan perubahan temperatur ataupun fase pada substansi. Oleh karena itu berdasarkan efek yang ditimbulkannya terhadap suatu substansi, kalor dapat dibagi menjadi 2:

- Kalor sensibel, adalah kalor yang keberadaannya menyebabkan/menyertai timbulnya perubahan

temperatur pada substansi. Dalam kondisi ini kalor digunakan untuk meningkatkan energi dalam kinetik pada substansi.

- Kalor laten, adalah kalor yang keberadanya menyebabkan/menyertai timbulnya perubahan fase pada substansi. Dalam kondisi ini temperatur cenderung konstan karena kalor cenderung menaikkan tingkat pemisahan molekul (meningkatkan energi dalam potensial).

Berdasarkan perubahan fase pada substansi, kalor laten dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

- Kalor laten fusi, yaitu kalor yang menyebabkan terjadinya perubahan fase suatu substansi yang telah mencapai temperatur fusi, dari fase padat menjadi cair ataupun sebaliknya.

$$q = m u_f$$

$$q = \text{kalor laten (kJ)}$$

$$m = \text{massa (kg)}$$

$$u_f = \text{kalor laten fusi (kJ/kg)}$$

- Kalor laten vaporasi, yaitu kalor yang menyebabkan terjadinya perubahan fase suatu substansi yang telah mencapai temperatur jenuh (saturation temperature), dari fase cair menjadi gas ataupun sebaliknya.

$$q = m u_g$$

$$q = \text{kalor laten (kJ)}$$

$$u_g = \text{kalor laten vaporasi (kJ/kg)}$$

$$m = \text{massa (kg)}$$

BAB III

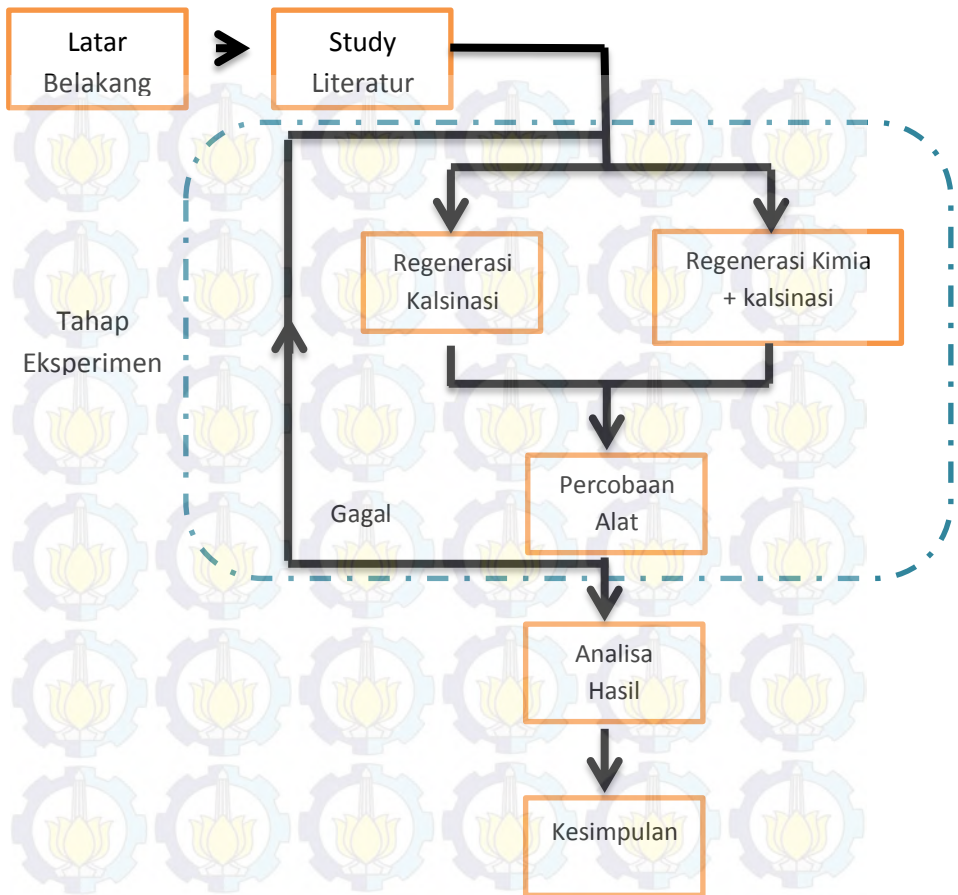
METODOLOGI

3.1 Umum

Pada bab ini akan diuraikan langkah-langkah sistematis yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Metodologi merupakan kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi penulisan tugas akhir ini mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir.

3.2 Metodologi Tugas Akhir

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa tahap, untuk lebih jelasnya akan dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Flow chart pengerjaan skripsi

3.2.1 Study Literatur

Pada tahap ini merupakan tahapan awal dari pengerjaan tugas akhir. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan bahan pustaka dan literatur-literatur yang diperlukan dalam mendukung pengerjaan tugas akhir. Pada pengerjaan tugas akhir ini literatur pendukung yang digunakan diperoleh dari buku, jurnal, laporan tugas akhir, serta dari internet. Literatur yang di ambil dalam tugas akhir ini berkaitan dengan prinsip kerja mesin pendingin adsorpsi, karakteristik zeolit.

3.2.2 Tahap Experiment

Pada tahap ini akan di lakukan percobaan regenerasi dengan metode kalsinasi dan metode kimia + kalsinasi. Dan zeolit setelah di regenerasi di lakukan percobaan alat pendingin adsorpsi.

1. Percobaan regenerasi

Dalam tahap persiapan dilakukan proses regenerasi zeolit yang telah di jenuhkan dengan merendam di dalam air. Setelah zeolit tersebut jenuh maka regenerasi / reaktivasi di lakukan dengan kalsinasi dan perlakuan kimia.

a. Secara Kalsinasi

Zeolit dapat di aktivasi dengan cara kalsinasi, dengan memanaskan 1 kg zeolit jenuh pada panas matahari dan di panaskan dengan oven pada temperatur 150 Celcius.

Prosedur regenerasi dengan panas matahari :

- Siapkan 1 kg zeolit ke dalam wadah tahan panas
- Jemur zeolit langsung terkena panas matahari selama 4 jam
- Catat perubahan berat zeolit setiap 15 mnt
- Setelah pemanasan selesai timbang berat zeolit

Variable yang di gunakan pada proses ini yaitu:

- Suhu udara dari sumber panas matahari (T_{mat})
- Berat zeolit (m)
- Waktu (t)

Prosedur regenerasi dengan oven :

- Siapkan 1 kg zeolit ke dalam wadah tahan panas
- Masukkan ke dalam oven pemanas pada temperatur 150 celcius selama 2 jam
- Catat perubahan berat zeolit setiap 15 mnt
- Setelah pemanasan selesai timbang berat zeolit

Variable yang di gunakan pada proses ini yaitu:

- Suhu oven (T_{ov})
- Berat zeolit (m)
- Waktu (t)

b. Secara Kimia dan pemanasan

Zeolit dapat di aktivasi dengan cara kimia , dengan melarutkan 1kg zeolit dalam larutan NaOH dan HCL. Larutan NaOH yang akan di gunakan dalam aktivasi adalah larutan NaOH 0.75 N,dan larutan HCL

Dalam membuat larutan NaOH adalah dengan melarutkan NaOH solid ke dalam Aquades. Konsentrasi NaOH akan di butuhkan sejumlah gr NaOH sebagai berikut :

- NaOH 0.75 N (90gr NaOH di larutkan dalam 3 ltr aquades)

Pemanasan di tujuan untuk mengeringkan zeolit dengan cara pemanasan matahari dan pada oven bertemperature 150 celcius

Prosedur regenerasi :

Dengan menggunakan NaOH

- Buat larutan NaOH 0.75N dan Volumnya 3 liter
- Siapkan 1 kg Zeolit dalam wadah dan campurkan larutan NaOH 0.75 N
- Rendam selama 2 jam

- Cuci bersih zeolit yang telah di rendam dengan aquades
- Keringkan zeolit dengan pemanasan matahari dan 150°C
- Timbang berat zeolit

Variable yang di gunakan pada proses ini yaitu:

- Suhu udara dari sumber panas matahari (T_{mat})
- Suhu oven (T_{ov})
- Berat zeolit rendaman NaOH (m_{zna})
- Waktu (t)
- Volume NaOH (v_{naoh})

Dengan menggunakan HCL

- Siapkan 1kg zeolit dalam wadah.
- Campurkan / tuangkan larutan 1 ltr HCL
- Rendam selama 2 jam
- Cuci bersih zeolit yang telah di rendam dengan aquades
- Keringkan zeolit dengan pemanasan matahari dan 150°C
- Timbang berat zeolit

Variable yang di gunakan pada proses ini yaitu:

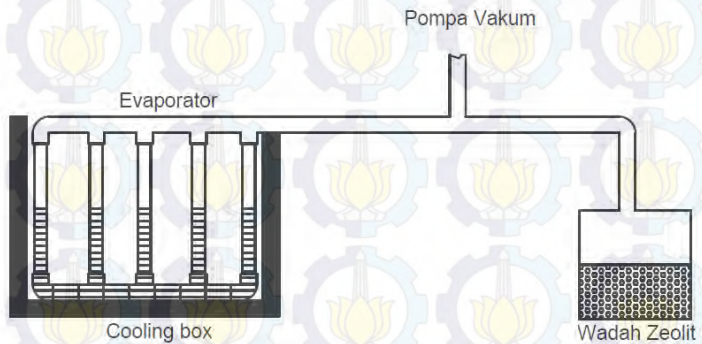
- Suhu udara dari sumber panas matahari (T_{mat})

- Suhu oven (T_{ov})
- Berat zeolit rendaman HCL (m_{zcl})
- Waktu (t)
- Volume NaOH (v_{naoh})

2. Percobaan Alat Pendingin Adsorpsi

Dalam percobaan akan dirakit sebuah alat percobaan alat pendingin adsorpsi.

Rangkaian alat percobaan :



Gambar 3.2 Skema alat pendingin adsorpsi

Alat pendingin adsorpsi

- Cooling box
- Evaporator
- Wadah zeolit
- Pipa PVC

Setelah regenerasi baik secara kalsinasi maupun kimia telah dilakukan maka akan dilakukan percobaan pada alat pendingin adsorpsi seperti pada rangkaian di atas. Urutan kerja :

1. Isi kotak evaporator dengan 300 ml air pendingin, isi cooling box dengan 1200 ml pada temperatur 70°C air beban pendingin dan isi wadah zeolit dengan zeolit yang telah di regenerasi.
2. Tahap selanjutnya adalah memvakumkan udara yang mengisi ruang evaporator , wadah zeolit, pipa saluran penghubung evaporator dan wadah zeolit.
3. Catat perubahan temperatur pada air beban pendinginan cooling box setiap 15 menit.
4. Timbang berat zeolit setelah di regenerasi dan setelah percobaan.
5. Lakukan langkah 1-3 untuk setiap zeolit yang di aktivasi pada 3.2.2

3.2.3 Analisa Hasil Percobaan

Analisa percobaan regenerasi zeolit :

- Analisa hubungan uap terdesorpsi dan waktu pada masing masing proses regenerasi.

Analisa percobaan adsorpsi zeolit pada alat pendingin adsorpsi:

- Perbandingan temperatur air beban pendingin, waktu dan massa zeolit setelah percobaan.
- Perpindahan kalor yang terjadi pada percobaan.

3.2.4 Kesimpulan

Dari data hasil experiment yang di dapat dan setelah di olah serta di analisa maka di tarik kesimpulan yang sesuai dengan hasil data yang di berikan guna menjawab rumusan masalah yang ada.



BAB IV

PEMBAHASAN

Pada bab pengujian ini dijelaskan hasil dan analisis pengujian yang telah dilakukan. Pengujian tersebut berupa pengujian terhadap kerja alat dan efisiensinya

4.1 Tujuan

1. Mengetahui hasil desorpsi uap air dari zeolit jenuh melalui proses regenerasi kalsinasi dengan menggunakan panas matahari dan pengovenan dan proses regenerasi kimia + kalsinasi dengan menggunakan larutan NaOH dan HCL.
2. Mengetahui efek zeolit untuk menyerap uap air dalam proses adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi.

4.2 Alat yang Digunakan

Pada percobaan untuk memperoleh tujuan di atas maka di butuhkan perlatan – peralatan untuk di lakukan pengambilan data dengan percobaan. Alat alat yang di butuhkan adalah sebagai berikut :

4.2.1 Peralatan pada percobaan regenerasi zeolit

1. Zeolit



Gambar 4.1 Zeolit

Zeolit ini lakukan regenerasi guna mencari tahu nilai desorpsi uap air. Pada awal percobaan zeolit akan di jenuhkan dengan di rendam di dalam air yang kemudian di timbang sejumlah 1 kg untuk tiap proses regenerasi.

2. Oven Tangkring



Gambar 4.2 Oven tangkring

Oven tangkring di gunakan untuk proses regenerasi dengan kalsinasi pada temperatur 150°C .

3. Termometer



Gambar 4.3 Termometer

Termometer ini di gunakan untuk mengukur temperatur dalam oven pada proses regenerasi.

4. NaOH



Gambar 4.4 NaOH

NaOH di gunakan untuk membuat larutan NaOH untuk merendam Zeolit pada proses regenerasi.

5. HCL



Gambar 4.5 HCL

HCl di gunakan untuk proses perendaman zeolit pada proses regenerasi.

6. Timbangan



Gambar 4.6 Timbangan

Timbangan di gunakan untuk menimbang berat zeolit sebelum dan sesudah regenerasi serta pada sebelum percobaan adsorpsi dan sesudah percobaan adsorpsi.

4.2.2 Peralatan pada percobaan adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi

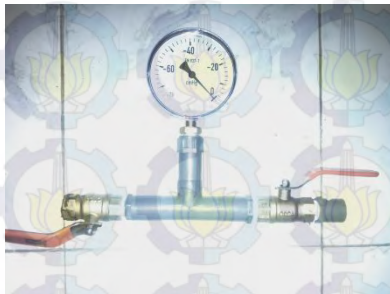
1. Pompa vakum



Gambar 4.7 Pompa Vakum

Pompa vakum ini di gunakan untuk mengkondisikan sistem hingga kondisi vakum, untuk pompa vakum yang di gunakan adalah compressor 1/4pk dan mampu memvakum hingga - 60cmhg

2. Vakum gauge



Gambar 4.8 Vakum gauge

Vakum gauge di gunakan untuk mengukur kondisi kevakuman pada sistem pendingin adsorpsi.

3. Termometer



Gambar 4.9 Termometer

Termometer yang di gunakan pada proses regenerasi ini juga di gunakan untuk mengukur temperatur efek pendinginan pada proses adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi.

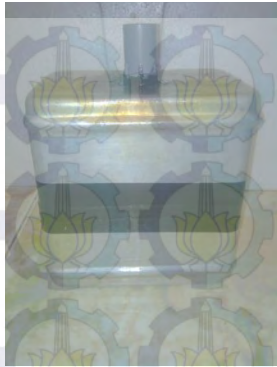
4. Evaporator



Gambar 4.10 evaporator

Evaporator terbuat dari fitting pipa pvc dengan ukuran $\frac{1}{2}$ " dan pipa aluminium ukuran $\frac{1}{2}$ ". Evaporator ini di isi dengan air sejumlah 300 ml.

5. Wadah zeolit



Gambar 4.11 wadah Zeolit

Wadah zeolit yang di gunakan bermaterial aluminium dan digunakan untuk menampung zeolit yang telah di regenerasi.

4.3 Hasil Percobaan

Hasil percobaan yang di dapat adalah hasil percobaan proses regenerasi zeolit dan hasil percobaan adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi

4.3.1 Hasil percobaan proses regenerasi zeolit

Untuk mengawali proses regenerasi zeolit ini sebelumnya sejumlah 1kg zeolit di jenuhkan terlebih dahulu dengan merendam dengan air. Proses regenerasi dilakukan dengan memanaskan 1 kg zeolit jenuh dengan metode kalsinasi / pemanasan dan secara campuran (kimia dan pemanasan)

- Percobaan 1.

Percobaan dilakukan dengan memanaskan 1kg zeolit jenuh pada temperatur 150°C.

Tabel 4.1 Hasil Regenerasi Secara Kalsinasi pada suhu 150 celcius

No	Massa Zeolit Jenuh	Metode Regenerasi	Durasi Pemanasan	Massa Zeolit setelah Regenerasi
1.	1000 gr	Pemanasan 150 Celcius	15 mnt	960 gr
2.	1000 gr	Pemanasan 150 Celcius	30 mnt	910 gr
3.	1000 gr	Pemanasan 150 Celcius	45 mnt	860 gr
4.	1000 gr	Pemanasan 150 Celcius	60 mnt	820 gr
5.	1000 gr	Pemanasan 150 Celcius	75 mnt	780 gr
6.	1000 gr	Pemanasan 150 Celcius	90 mnt	750 gr
7.	1000 gr	Pemanasan 150 Celcius	105 mnt	750 gr
8.	1000 gr	Pemanasan 150 Celcius	120 mnt	750 gr

- Percobaan 2.

Percobaan dilakukan dengan merendam 1kg zeolit jenuh pada larutan NaOH kemudian dipanaskan pada temperatur 150°C.

Tabel 4.2 Hasil Regenerasi Secara NaOH dan Kalsinasi pada suhu 150 celcius

No	Massa Zeolit Jenuh	Metode Regenerasi	Durasi Pemanasan	Massa Zeolit setelah Regenerasi
1.	1000 gr	NaOH + Pemanasan 150 Celcius	15 mnt	970 gr
2.	1000 gr	NaOH + Pemanasan 150 Celcius	30 mnt	930 gr
3.	1000 gr	NaOH + Pemanasan 150 Celcius	45 mnt	890 gr
4.	1000 gr	NaOH + Pemanasan 150 Celcius	60 mnt	860 gr
5.	1000 gr	NaOH + Pemanasan 150 Celcius	75 mnt	820 gr
6.	1000 gr	NaOH + Pemanasan 150 Celcius	90 mnt	790 gr
7.	1000 gr	NaOH + Pemanasan 150 Celcius	105 mnt	770 gr
8.	1000 gr	NaOH + Pemanasan 150 Celcius	120 mnt	770 gr

- Percobaan 3.

Percobaan dilakukan dengan merendam 1kg zeolit jenuh pada larutan HCL kemudian dipanaskan pada temperatur 150°C.

Tabel 4.3 Hasil Regenerasi Secara HCL dan Kalsinasi pada suhu 150 celcius

No	Massa Zeolit Jenuh	Metode Regenerasi	Durasi Pemanasan	Massa Zeolit setelah Regenerasi
1.	1000 gr	HCL + Pemanasan 150 Celcius	15 mnt	950 gr
2.	1000 gr	HCL + Pemanasan 150 Celcius	30 mnt	900 gr
3.	1000 gr	HCL + Pemanasan 150 Celcius	45 mnt	860 gr
4.	1000 gr	HCL + Pemanasan 150 Celcius	60 mnt	830 gr
5.	1000 gr	HCL + Pemanasan 150 Celcius	75 mnt	800 gr
6.	1000 gr	HCL + Pemanasan 150 Celcius	90 mnt	760 gr
7.	1000 gr	HCL + Pemanasan 150 Celcius	105 mnt	720 gr
8.	1000 gr	HCL + Pemanasan 150 Celcius	120 mnt	710 gr

- Percobaan 4.

Percobaan dilakukan dengan memanaskan 1kg zeolit jenuh pada temperatur panas rata rata dari panas matahari.

Tabel 4.4 Regenerasi dengan panas matahari

No	Massa Zeolit Jenuh	Metode Regenerasi	Temperatur (Celcius)	Durasi Pemanasan	Massa Zeolit setelah Regenerasi
1	1000 gr	Pemanasan Matahari	42	15 mnt	1000 gr
2	1000 gr	Pemanasan Matahari	42	30 mnt	990 gr
3	1000 gr	Pemanasan Matahari	43	45 mnt	970 gr
4	1000 gr	Pemanasan Matahari	42	60 mnt	940 gr
5	1000 gr	Pemanasan Matahari	43	75 mnt	920 gr
6	1000 gr	Pemanasan Matahari	42	90 mnt	910 gr
7	1000 gr	Pemanasan Matahari	41	105 mnt	900 gr
8	1000 gr	Pemanasan Matahari	42	120 mnt	890 gr
9	1000 gr	Pemanasan Matahari	40	135 mnt	880 gr
10	1000 gr	Pemanasan Matahari	39	150 mnt	860 gr
11	1000 gr	Pemanasan Matahari	38	165 mnt	840 gr
12	1000 gr	Pemanasan Matahari	38	180 mnt	830 gr
13	1000 gr	Pemanasan Matahari	37	195 mnt	820 gr
14	1000 gr	Pemanasan Matahari	37	210 mnt	810 gr
15	1000 gr	Pemanasan Matahari	36	225 mnt	800 gr
16	1000 gr	Pemanasan Matahari	36	240 mnt	800 gr

- Percobaan 5.

Percobaan dilakukan dengan merendam 1kg zeolit jenuh dengan larutan NaOH kemudian memanaskan pada temperatur panas rata rata dari panas matahari.

Tabel 4.5 Regenerasi dengan NaOH dan panas matahari

No	Massa Zeolit Jenuh	Metode Regenerasi	Temperatur (Celcius)	Durasi Pemanasan	Massa Zeolit setelah Regenerasi
1	1000 gr	NaOH + Pemanasan	42	15 mnt	1000 gr
2	1000 gr	NaOH + Pemanasan	42	30 mnt	990 gr
3	1000 gr	NaOH + Pemanasan	43	45 mnt	980 gr
4	1000 gr	NaOH + Pemanasan	42	60 mnt	960 gr
5	1000 gr	NaOH + Pemanasan	43	75 mnt	940 gr
6	1000 gr	NaOH + Pemanasan	42	90 mnt	930 gr
7	1000 gr	NaOH + Pemanasan	41	105 mnt	910 gr
8	1000 gr	NaOH + Pemanasan	42	120 mnt	890 gr
9	1000 gr	NaOH + Pemanasan	40	135 mnt	880 gr
10	1000 gr	NaOH + Pemanasan	39	150 mnt	860 gr
11	1000 gr	NaOH + Pemanasan	38	165 mnt	840 gr
12	1000 gr	NaOH + Pemanasan	38	180 mnt	830 gr
13	1000 gr	NaOH + Pemanasan	37	195 mnt	820 gr
14	1000 gr	NaOH + Pemanasan	37	210 mnt	810 gr
15	1000 gr	NaOH + Pemanasan	36	225 mnt	800 gr
16	1000 gr	NaOH + Pemanasan	36	240 mnt	800 gr

- Percobaan 6.

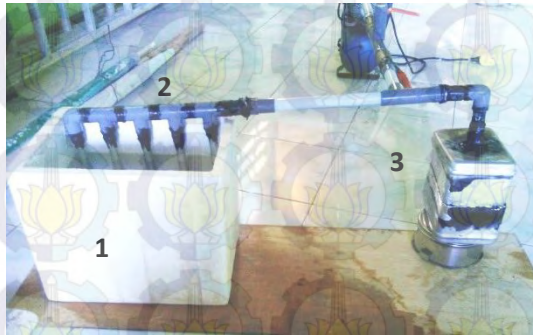
Percobaan dilakukan dengan merendam 1kg zeolit jenuh dengan larutan HCL kemudian memanaskan pada temperatur panas rata rata dari panas matahari.

Tabel 4.6 Regenerasi dengan HCL dan panas matahari

No	Massa Zeolit Jenuh	Metode Regenerasi	Temperatur (Celsius)	Durasi Pemanasan	Massa Zeolit setelah Regenerasi
1	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	42	15 mnt	990 gr
2	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	42	30 mnt	970 gr
3	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	43	45 mnt	950 gr
4	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	42	60 mnt	930 gr
5	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	43	75 mnt	910 gr
6	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	42	90 mnt	890 gr
7	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	41	105 mnt	870 gr
8	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	42	120 mnt	850 gr
9	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	40	135 mnt	830 gr
10	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	39	150 mnt	820 gr
11	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	38	165 mnt	810 gr
12	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	38	180 mnt	800 gr
13	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	37	195 mnt	790 gr
14	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	37	210 mnt	780 gr
15	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	36	225 mnt	780 gr
16	1000 gr	HCL + Pemanasan Matahari	36	240 mnt	780 gr

4.3.2 Hasil percobaan proses adsorpsi pada alat pendingin adsorpsi

Pada percobaan adsorpsi zeolit pada alat pendingin adsorpsi ini adalah guna mengetahui fungsi kerja zeolit yang telah di regenerasi pada alat pendingin. Berikut ini adalah rancangan alat percobaan pendingin adsorpsi, properti air beban pendingin, properti air pendingin :



Gambar 4.12 Alat Percobaan Alat Pendingin Adsorpsi

Bahan yang di butuhkan dalam membuat alat percobaan di antaranya :

1. Cooling box
2. Evaporator
3. Wadah zeolit
4. Pipa PVC

Properti air beban pendingin

ρ_c : density air beban pendingin
: 978 kg/m³
 c_c : specific heat air beban pendingin
: 4.190 kJ/kg °C
 u_c : internal energy air beban pendingin
: 2510 kJ/kg
 P_c : tekanan pada cooling box
: 76 cmhg

Properti air pendingin

ρ_e : density air pendingin
: 996 kg/m³
 c_e : specific heat air pendingin
: 4.180 kJ/kg °C
 u_e : internal energy air pendingin
: 2460 kJ/kg
 P_e : tekanan pada evaporator
: 16 cmhg

Berikut ini adalah hasil percobaan adsorpsi zeolit teregenerasi pada alat pendingin adsorpsi :

- Percobaan 1.

Dalam Pengujian ini yang digunakan Air pendingin,
Air beban pendingin dan zeolit teregenerasi:

- Air pendingin : 300 ml
- Air beban Pendingin : 1200 ml
- Zeolit_(pemanasan matahari) : 800 g

Tabel 4.7 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi panas matahari

no	waktu	satuan	suhu	satuan	kalor	satuan
1	0	mnt	70	celcius	0	kJ
2	15	mnt	60	celcius	-502,8	kJ
3	30	mnt	57,5	celcius	-628,5	kJ
4	45	mnt	55	celcius	-754,2	kJ
5	60	mnt	52,5	celcius	-879,9	kJ
6	75	mnt	50	celcius	-1005,6	kJ
7	90	mnt	47,5	celcius	-1131,3	kJ
8	105	mnt	45	celcius	-1257	kJ
9	120	mnt	42,5	celcius	-1382,7	kJ

- Percobaan 2.

Dalam Pengujian ini yang digunakan Air pendingin, Air beban pendingin dan zeolit teregenerasi:

- Air pendingin : 300 ml
- Air beban Pendingin : 1200 ml
- Zeolit_(NaOH+pemanasan matahari) : 800 g

Tabel 4.8 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi NaOH & panas matahari

no	waktu	satuan	suhu	satuan	kalor	satuan
1	0	mnt	70	celcius	0	kJ
2	15	mnt	60	celcius	-502,8	kJ
3	30	mnt	57,5	celcius	-628,5	kJ
4	45	mnt	55	celcius	-754,2	kJ
5	60	mnt	52,5	celcius	-879,9	kJ
6	75	mnt	50	celcius	-1005,6	kJ
7	90	mnt	47,5	celcius	-1131,3	kJ
8	105	mnt	45	celcius	-1257	kJ
9	120	mnt	42,5	celcius	-1382,7	kJ

- Percobaan 3.

Dalam Pengujian ini yang digunakan Air pendingin, Air beban pendingin dan zeolit teregenerasi:

- Air pendingin : 300 ml
- Air beban Pendingin : 1200 ml
- Zeolit_(HCL+pemanasan matahari) : 780 g

Tabel 4.9 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi HCL & panas matahari

no	waktu	satuan	suhu	satuan	kalor	satuan
1	0	mnt	70	celcius	0	kJ
2	15	mnt	60	celcius	-502,8	kJ
3	30	mnt	57,5	celcius	-628,5	kJ
4	45	mnt	55	celcius	-754,2	kJ
5	60	mnt	52,5	celcius	-879,9	kJ
6	75	mnt	50	celcius	-1005,6	kJ
7	90	mnt	47,5	celcius	-1131,3	kJ
8	105	mnt	45	celcius	-1257	kJ
9	120	mnt	42,5	celcius	-1382,7	kJ

- Percobaan 5.

Dalam Pengujian ini yang digunakan Air pendingin, Air beban pendingin dan zeolit teregenerasi:

- Air pendingin : 300 ml
- Air beban Pendingin : 1200 ml
- Zeolit_(NaOH+pemanasan 150 C) : 770 g

Tabel 4.11 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi NaOH & oven 150 Celcius

no	waktu	satuan	suhu	satuan	kalor	satuan
1	0	mnt	70	celcius	0	kJ
2	15	mnt	60	celcius	-502,8	kJ
3	30	mnt	57,5	celcius	-628,5	kJ
4	45	mnt	55	celcius	-754,2	kJ
5	60	mnt	52,5	celcius	-879,9	kJ
6	75	mnt	50	celcius	-1005,6	kJ
7	90	mnt	47,5	celcius	-1131,3	kJ
8	105	mnt	45	celcius	-1257	kJ
9	120	mnt	42,5	celcius	-1382,7	kJ

- Percobaan 6.

Dalam Pengujian ini yang digunakan Air pendingin, Air beban pendingin dan zeolit teregenerasi:

- Air pendingin : 300 ml
- Air beban Pendingin : 1200 ml
- Zeolit_(HCL+pemanasan 150 C) : 710 g

Tabel 4.12 Hasil percobaan alat pendingin adsorpsi dengan zeolit aktivasi HCL & oven 150 Celcius

no	waktu	satuan	suhu	satuan	kalor	satuan
1	0	mnt	70	celcius	0	kJ
2	15	mnt	60	celcius	-502,8	kJ
3	30	mnt	57,5	celcius	-628,5	kJ
4	45	mnt	55	celcius	-754,2	kJ
5	60	mnt	52,5	celcius	-879,9	kJ
6	75	mnt	50	celcius	-1005,6	kJ
7	90	mnt	47,5	celcius	-1131,3	kJ
8	105	mnt	45	celcius	-1257	kJ
9	120	mnt	42,5	celcius	-1382,7	kJ

- Percobaan 7.

Dalam Pengujian ini yang digunakan Air beban pendingin yang melepas kalor secara natural tanpa alat pendingin adsorpsi. Data yang diperoleh adalah :

- Air beban Pendingin : 1200 ml

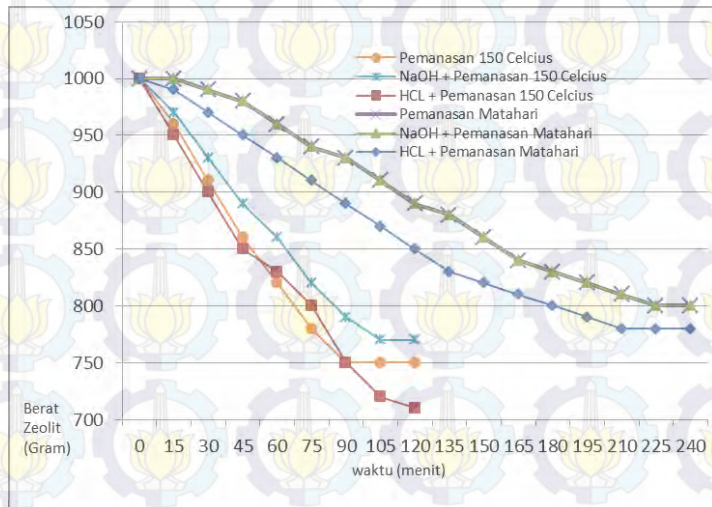
Tabel 4.13 Hasil percobaan pendinginan 12 liter suhu 70 Celcius tanpa alat pendingin adsorpsi

no	waktu	satuan	suhu	satuan	kalor	satuan
1	0	mnt	70	celcius	0	kJ
2	15	mnt	67,5	celcius	-125,7	kJ
3	30	mnt	65	celcius	-251,4	kJ
4	45	mnt	62,5	celcius	-377,1	kJ
5	60	mnt	60	celcius	-502,8	kJ
6	75	mnt	57,5	celcius	-628,5	kJ
7	90	mnt	55	celcius	-754,2	kJ
8	105	mnt	52,5	celcius	-879,9	kJ
9	120	mnt	50	celcius	-1005,6	kJ

4.4 Pembahasan

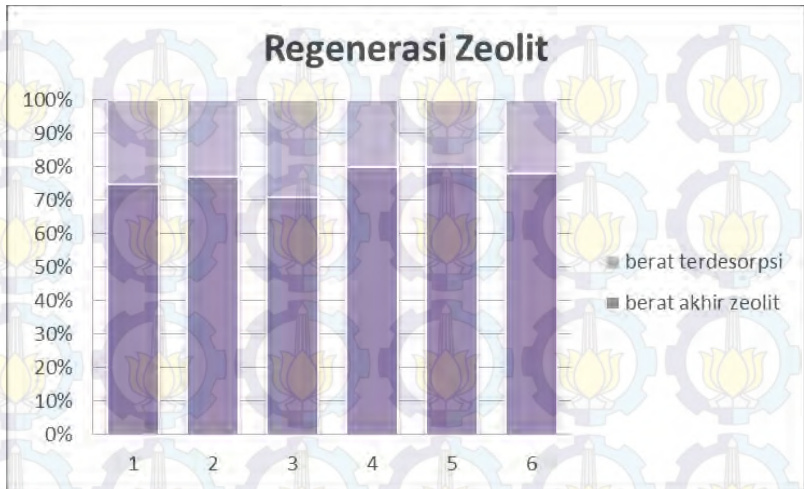
4.4.1 Analisa Percobaan Regenerasi Zeolit

Hubungan antara berat uap air terdesorpsi dan waktu untuk desorpsi.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan Zeolit dengan berbagai proses regenerasi

Dari grafik di atas menunjukkan pada proses regenerasi dengan perendaman HCL dan pemanasan pada 150 celcius menunjukkan hasil desorpsi terbesar yaitu 290 gram uap air atau 29% terhadap masa 1kg zeolit jenuh. Dan desorpsi terendah adalah pada proses perendaman NaOH dengan pemanasan matahari & proses pemanasan matahari saja yaitu 200 gram uap air atau 20% terhadap masa 1kg zeolit jenuh. Perbandingan waktu untuk desorpsi optimum dari masing masing sumber panas yaitu 120 menit.



Gambar 4.14 Grafik Prosesentase uap air tersdesorpsi terhadap masa 1 kg zeolit jenuh

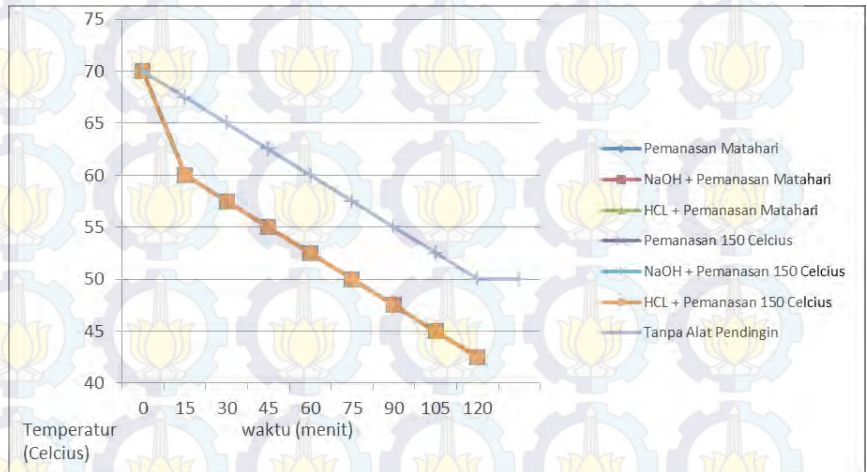
Ket :

1. Pemanasan 150°C
2. NaOH + Pemanasan 150°C
3. HCL + Pemanasan 150°C
4. Pemanasan Matahari
5. NaOH + Pemanasan Matahari
6. HCL + Pemanasan Matahari

Grafik di atas menunjukkan bahwa 1kg zeolit jenuh teregenerasi terdesorpsi sebesar 20 – 29 %.

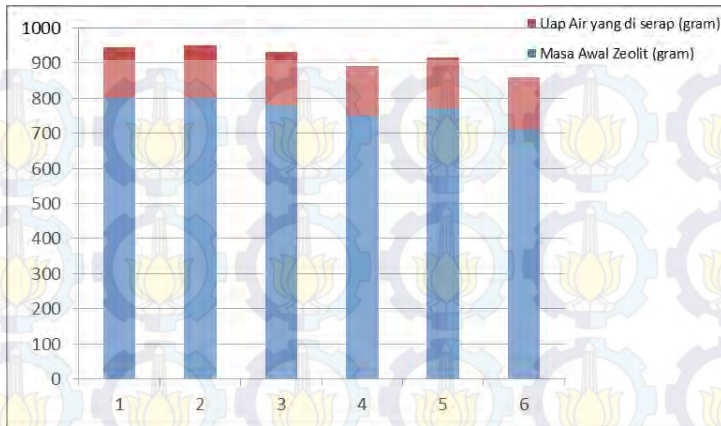
4.4.2 Analisa Percobaan Adsorpsi pada Alat Pendingin Adsorpsi.

Hubungan antara penurunan temperatur pada air beban pendingin dengan waktu percobaan.



Gambar 4.15 Grafik perbandingan penurunan temperatur air beban pendingin terhadap waktu pada setiap penggunaan zeolit teregenerasi.

Menurut grafik di atas menunjukkan temperatur air beban pendingin turun secara alami dari 70°C hingga 50°C selama 120 menit. Sedangkan temperatur air beban pendingin dari 70°C hingga 42.5°C selama 120 dengan menambahkan alat pendingin adsorpsi pada setiap penggunaan zeolit teregenerasi. Sehingga terjadi perbedaan waktu dan temperatur penurunan terjadi pada kurun waktu 0 – 15 menit.



Gambar 4.16 Grafik Penyerapan uap air oleh zeolit teregenerasi

Ket :

1. Pemanasan Matahari
2. NaOH + Pemanasan Matahari
3. HCL + Pemanasan Matahari
4. Pemanasan 150°C
5. NaOH + Pemanasan 150°C
6. HCL + Pemanasan 150°C

Menurut grafik di atas menunjukkan bahwa uap air yang di serap oleh setiap zeolit pada setiap percobaan adalah 140 – 150 gram uap air. Sehingga dari data yang di dapatkan sebelumnya dapat di analisa efek pendinginan pada kurun waktu 0 – 15 menit.

Perpindahan kalor dari air beban pendingin di cooling box ke air pendingin di evaporator pada kurun waktu 0 – 15 menit

$$Q_c = Q_e + Q_l$$

Q_c : kalor yang di lepas oleh air beban pendingin

Q_e : kalor yang di terima oleh air pendingin

Q_l : kalor yang lepas secara alami oleh air beban pendingin

Dari data hasil percobaan di ketahui :

Q_c : 502.8 kJ

Q_l : 125.7 kJ

Q_e : $Q_c - Q_l$

Q_e : $502.8 - 125.7$

Q_e : 377.1 kJ

Sedangkan secara matematis untuk Q_e

Q_e : $m_f c_e (T_2 - T_1) + m_g u_e$

m_f : massa air pada evaporator dalam bentuk cair

m_g : massa air pada evaporator dalam bentuk uap air

untuk massa uap air 140 gram :

Q_e : $(0.298 \times 4.18 \times (62 - 30)) + (0.14 \times 2460)$

$$Q_e : 39.86 + 344.4$$

$$Q_e : 384.26 \text{ kJ}$$

untuk massa uap air 150 gram :

$$Q_e : (0.298 \times 4.18 \times (62 - 30)) + (0.15 \times 2460)$$

$$Q_e : 39.86 + 369$$

$$Q_e : 408.86 \text{ kJ}$$

Tabel 4.14 Analisa pendinginan pada 0 – 15 menit

air beban pendingin	Air pendingin	Q (kJ)	ΔT Air beban pendingin	
			ΔT	Celsius
pelepasan kalor secara natural konveksi ke udara	Dari 30 C - 62 C , $Q = m c (T_2 - T_1)$	39,86	0,79	Celsius
	Mengubah wujud cair menjadi gas sejumlah masa air yang di serap oleh zeolit (140 ~ 150 gram air) , $Q = m u$	344,4 ~ 369	6,85 ~ 7,34	Celsius
		125,7	2,5	Celsius
		$Q_{total} =$ 509,96 kJ	$\Delta T_{total} =$ 10,14	Celsius
		\sim 534,56 kJ	\sim 10,63	Celsius

Pada kurun waktu 0 – 15 menit temperatur air beban pendingin menjadi $59.86 \sim 59.37$ °C dan dari data percobaan pada kurun waktu 0 – 15 menit air beban pendingin menjadi 60 °C. Pendinginan yang terjadi karena kondisi vakum pada alat pendingin, sehingga titik didih air dalam evaporator turun dan terjadi perpindahan kalor dari air beban pendingin dalam cooling box ke air pendingin dalam evaporator.

Banyak kekurangan pada proses percobaan yang telah dilakukan, zeolit teregenerasi tidak dapat menyerap uap air pada saat temperatur air beban pendingin di bawah titik didih air pendingin. Perlu dilakukan proses analisa penyerapan uap air oleh zeolit pada kondisi sistem yang telah equilibrium. Diharapkan dengan adanya analisa tersebut maka dapat di ketahui kemampuan zeolit dalam menyerap uap air, sehingga sistem pendingin adsorpsi akan lebih maksimal dalam proses pendinginan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan serangkaian percobaan dan analisa pembahasan maka didapatkan beberapa poin kesimpulan dari analisa regenerasi zeolit pada alat pendingin adsorpsi yaitu :

1. Proses regenerasi zeolit dapat dilakukan dengan sifat desorpsi dari zeolit. Untuk 1000 gram zeolit jenuh, proses desorpsi uap air terbesar adalah 290 gram uap air untuk regenerasi dengan perendaman HCL dan memanaskan pada temperatur 150°C . Pemanasan dapat menggunakan sumber panas matahari dan pemanasan 150°C menggunakan oven, hasil desorpsi dengan kedua sumber panas tersebut memiliki selisih rata-rata 50 gram uap air dan 120 menit selisih waktu proses regenerasi.
2. Untuk proses adsorpsi zeolit pada alat pendingin adsorpsi, zeolit teregenerasi mampu menyerap uap air sejumlah 140 – 150 gram uap air. Penyerapan uap air ini di karenakan kodisi vakum pada alat pendingin adsorpsi, pemvakuman menyebabkan titik didih air dalam evaporator turun hingga di bawah temperatur air beban pendingin.

5.2 Saran

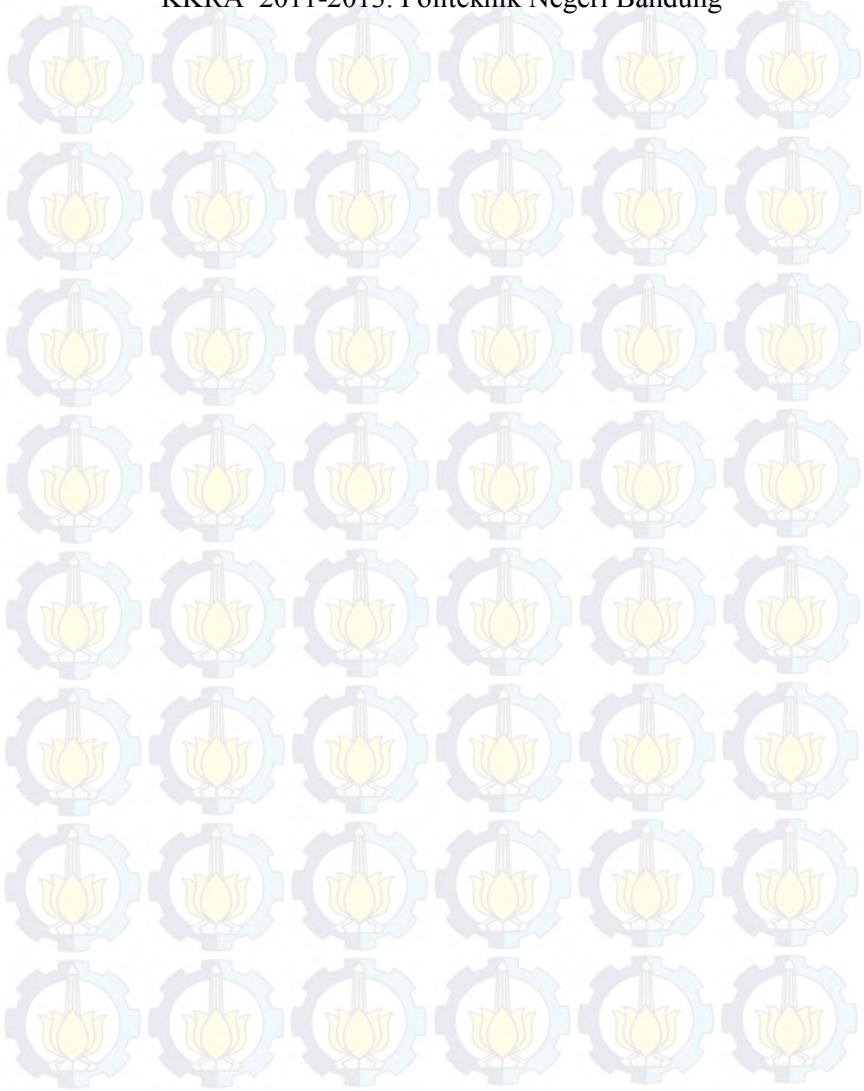
Saran di perlukan agar pada pengembangan selanjutnya untuk alat pendingin adsorpsi ini menjadi lebih baik dan sempurna lagi yaitu :

1. Perlunya melakukan percobaan ke depan dengan mengacu pada standar metode percobaan code standart (ASTM, DIN, SNI...etc)
2. Perlunya dilakukan sebuah analisa guna mengetahui unsur unsur pengotor yang lepas pada zeolit pada saat regenerasi secara kimia.

Daftar Pustaka

1. Amelia, R. 2003. Pengaruh Konsentrasi Molekul Pengarah Terhadap Kristalinitas dan Komposisi Mineral Zeolit Pada Modifikasi Zeolit Alam Wonosari. Skripsi. Universitas Diponegoro, Semarang.
2. Davis (2012) Zeolite Cooling System. University of California
3. Holman, J.P. (1994) Perpindahan Kalor. Southern Methodist University
4. Ismaryata. 1999. The study of acidic washing temperature and calcination effect on modification process of natural zeolite as an anion exchanger. Undip Semarang.
5. K. Laeli (2010) Aktivasi zeolit alam sebagai adsorben uap air pada alat pengering bersuhu rendah. Undip Semarang
6. Kai Wang, Ph.D., Edward A. Vineyard, P.E (2011) Adsorption Refrigeration ASHRAE Journal.
7. Lesley, S., and Elain, M., 1992, Solid State Chemistry, Chapman & Hall, London.
8. N.O. Omisanya, C.O. Folayan, S.Y. Aku, S.S. Adefila (2012) Performance of a zeolite-water adsorption refrigeration. Nigeria.
9. Nurkholis, Jasaswabowo (2008) Desain Sitem Pendingin Fakultas Teknik Universitas Indonesia
10. Sutarti, Mursi. 1994. Zeolit : Tinjauan Literatur. Jakarta

11. Windy Hermawan Mitrakusuma, Modul bahan ajar
KKRA 2011-2013. Politeknik Negeri Bandung



LAMPIRAN



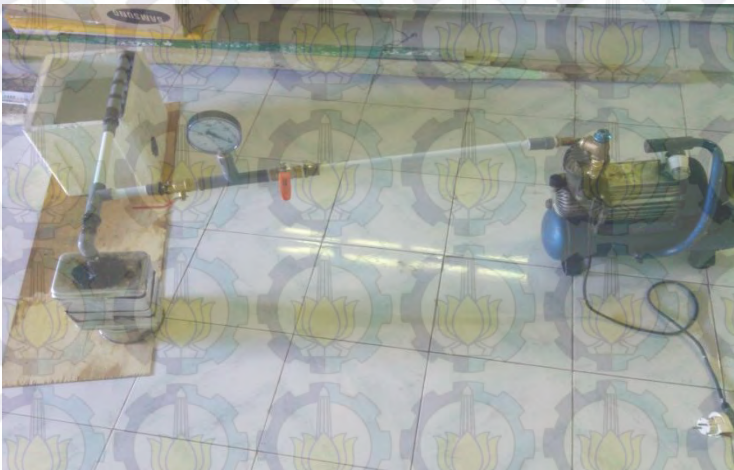
Proses menimbang berat zeolit



Proses mengukur temperatur air beban pendingin



Termometer 300 °C pada proses kalsinasi 150 °C



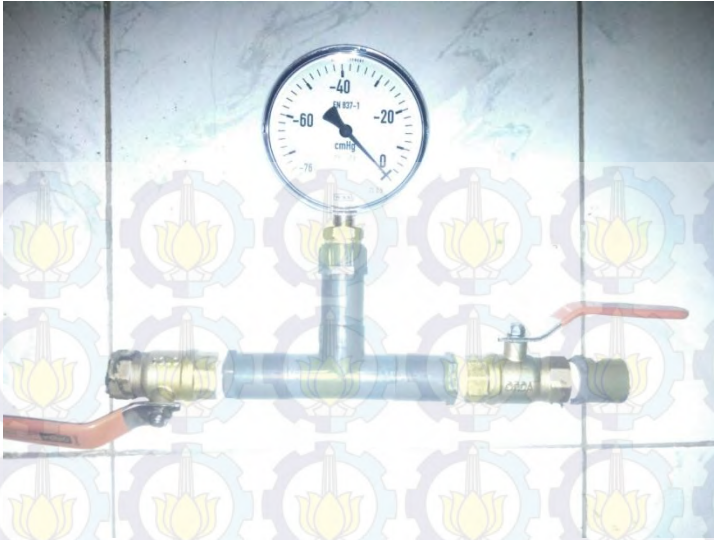
Proses percobaan alat pendingin adsorpsi

TABLE A-3 Properties of Saturated Water (Liquid–Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/kg · K		Press. bar
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	0.6493	8.1502	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2358.3	0.8320	7.9085	0.20
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	0.9439	7.7686	0.30
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.53	2477.0	317.58	2319.2	1.0259	7.6700	0.40
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	1.0910	7.5939	0.50
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	1.1453	7.5320	0.60
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	1.1919	7.4797	0.70
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.58	2498.8	391.66	2274.1	1.2329	7.4346	0.80
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	1.2695	7.3949	0.90
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	1.3026	7.3594	1.00
1.50	111.4	1.0528	1.159	466.94	2519.7	467.11	2226.5	1.4336	7.2233	1.50
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	1.5301	7.1271	2.00

O²H

Tabel Propertis H2O



Vacuum Gauge 0 - -76cmhg merk WIKA



Compressor digunakan sebagai pompa vakum



peralatan – peralatan



Aquades

Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Ngawi – Jawa Timur, 09 – 11 – 1989, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa sekolah antara lain yaitu SDN Manukan Kulon V Tandes – Surabaya, SMPN 3 Surabaya, dan SMAN 5 Surabaya pada tahun 2007, penulis melanjutkan ke jenjang strata – 1 dan diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK–ITS melalui jalur SPMB pada tahun 2007, terdaftar dengan NRP 4207 100 087. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK–ITS, penulis mengambil bidang studi *Marine Machinery and System*(MMS) untuk menyelesaikan skripsi. Dalam masa studi di Jurusan Teknik Sistem Perkapala FTK-ITS penulis juga memiliki pengalaman bekerja di beberapa bidang antara lain Cartenz HRD(2007-2010), PT.Sucofindo(2011-2012). Dalam kegiatan non akademis penulis juga aktif dalam Ikatan Alumni Pecinta Alam SMAN5 SBY(PALAWIJA).